

刘小曼, 刘晓东, 刘闫, 等. 镁肥对温州蜜柑果实产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 84-90.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.05.011

镁肥对温州蜜柑果实产量及品质的影响

刘小曼¹, 刘晓东¹, 刘闫¹, 谭启玲¹, 胡承孝¹, 武松伟¹, 谢合平²

1. 华中农业大学资源与环境学院/新型肥料湖北省工程实验室/华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070;
2. 湖北宜昌宽皮柑橘综合试验站, 宜昌 443100

摘要 为确定镁肥在柑橘的合理施用量并提高柑橘果实的内外品质, 以20年生枳砧温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)为材料, 设置5个镁肥水平, 分别为MgO 0、100、150、200、250 g/株(记为CK、T1、T2、T3、T4), 研究镁对温州蜜柑果实转色期及成熟期果肉糖酸组分、果皮色差值和色素含量的影响。结果显示: 与不施镁相比, 施镁能明显提高果实膨大期叶片镁含量; 显著提高果实产量, 且产量随镁肥用量的增加呈先增后减的变化规律, 2019年及2020年分别以MgO 124、122 g/株时果实理论产量最高。镁肥能提高温州蜜柑果实转色期果肉蔗糖含量, 显著增加果皮L、a、b、C值, 显著降低果皮H值、叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量, 提高果皮亮度、彩度及纯度; 但对果实成熟期果肉糖酸组分、果皮L、a、b、C值及叶绿素含量无显著影响。在果实转色期, T2、T3及T4处理果实内外品质整体较好, 但T4处理得分最高, 果实品质更佳。结果表明, 本试验条件下, 温州蜜柑果实产量最高且品质较佳的推荐施镁量为MgO 122~150 g/株, 果实品质最佳推荐施镁量为MgO 200~250 g/株。

关键词 温州蜜柑; 镁肥; 缺镁; 产量; 果实品质; 果皮着色

中图分类号 S143.7⁺2; S666.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)05-0084-07

柑橘果实的甜度和风味取决于果实成熟过程中糖、酸组分的变化和积累, 其中糖主要为果糖、葡萄糖和蔗糖, 糖比例的变化是形成独特风味的主要原因, 而蔗糖含量增加是柑橘果实甜味上升的决定因素。柑橘属柠檬酸型水果, 果实中含量最高的是柠檬酸(超过80%), 是影响酸组分及风味的决定因素^[1]。以色泽为核心的柑橘果实外在品质可占优质果品评选总分的60%。随着柑橘果实的成熟, 果皮叶绿素逐渐降解而类胡萝卜素不断积累, 成熟果实的果皮大多呈黄色、橙黄色或橙红色^[2]。

镁作为植物第四丰富的必需营养元素、叶绿素分子中心的唯一金属原子, 参与叶片光合作用, 影响糖、酸的合成与转化, 调节碳水化合物在叶片(源)与果实(库)间的转运与分配, 影响果实糖、酸的含量与比例。镁通过促进碳水化合物合成, 提供合成色素所需的中间产物而促进果实着色。如镁能增加葡萄果皮花色素的含量, 使果皮显著变红^[3], 叶面喷镁显著提高荔枝果皮镁含量, 促进荔枝果皮提前着色, 克

服果皮“滞绿”现象^[4], 合理施用镁肥能改善果皮着色和风味品质^[5-6], 过低及过高的镁肥用量会降低作物产量及品质^[7-8]。目前, 国内外研究主要集中在镁对柑橘果实可溶性固形物、可滴定酸、固酸比等的影响, 而镁对柑橘果实糖、酸组分及着色影响的研究较少。本研究以温州蜜柑为试材, 设置不同镁处理, 探讨镁对果实产量及品质的影响, 旨在确定镁肥适宜用量, 为实现温州蜜柑高产高质提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

田间试验始于2017年3月, 以湖北省宜昌市夷陵区鸦鹊镇(N 30°40'30", E 111°28'11")20年生枳砧温州蜜柑为试验材料, 果园土壤为黄棕壤, 试验前土壤pH值5.18、有机质24.58 g/kg、碱解氮120.83 mg/kg、速效磷48.03 mg/kg、速效钾230 mg/kg、交换性钙1 096.51 mg/kg、交换性镁246.06 mg/kg。参考柑橘园土壤养分分级标准^[9], 果园土壤酸性适宜, 土

收稿日期: 2022-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(32172513); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26); 湖北省重点研发计划项目(2020BCB061)

刘小曼, E-mail: liuxm@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 谭启玲, E-mail: qltan@mail.hzau.edu.cn

壤有机质、碱解氮、速效磷、交换性钙、交换性镁处于适量水平,土壤速效钾处于高量水平。

本试验采取随机区组试验,镁肥设置5个水平,分别为MgO 0、100、150、200、250 g/株,依次记为CK、T1、T2、T3、T4,每个处理12株树,4次重复,各处理氮、磷、钾全年施肥量为N 0.76 kg/株、P₂O₅ 0.38 kg/株、K₂O 0.53 kg/株。镁肥选择速效镁肥中柑橘园最常用的硫酸镁(MgO 26%),其他供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、硫酸钾(K₂O 50%),镁肥作萌芽肥(3月上旬)于树冠滴水线范围内以沟施方式施入30 cm土壤并覆土;氮、磷、钾肥全年分2次沟施,萌芽肥(3月上旬),各占施用总量的60%,壮果肥(6月上旬),各占施用总量的40%。从2017年每年按期施入上述肥料,于试验的第3年(2019)采集温州蜜柑不同生长期的当年生春梢叶片,于试验的第3年和第4年(2019—2020年)10—11月果实转色期、成熟期采集果实样品。

1.2 测定项目及方法

叶片样品于树冠中部外侧4个方位,于幼果期(5月)、果实膨大前期(7月)、果实膨大后期(9月)、果实成熟期(11月)采集生长中等的当年生营养春梢部顶端往下第2~3片叶,每株树采集7~8片,将同一个重复混合为一个样品。叶片镁含量采用原子吸收分光光度计测定,其含量参考前人分级标准^[10],极缺水平为<0.2%,缺乏水平为0.2%~0.29%,适量水平为0.30%~0.5%。

于2019—2020年温州蜜柑果实转色期调查挂果数,果实产量=果实数×单果质量,对果实产量与镁肥施用量进行曲线拟合。于10—11月果实转色期、成熟期从每株树冠中部外围按东西南北4个方向随机选取长势一致、无病虫害并具代表性的果实样品各12个。将同一个重复混合为一个样品,一部分取适量果皮、果肉组织,用干冰带回实验室,−80℃保存,另一部分果实样品用于测定果皮色差。果肉糖、酸组分含量测定参照范素杰^[11]的方法。

果皮色差值采用色差仪(日本,MINOLTA CR-300)测定,L值表示亮度;a值表示红绿色差;b值表示黄蓝色差;c值表示着色强度,C值越大,颜色越纯;H值表示色调角,当H<50°,H值越小,果实红色越深,当H>100°,H值越大,果实绿色越深。

果皮色素测定参考Zagari等^[12]的方法,用酶标仪(TECAN, Spark 10M, Switzerland)分别在波长为663、647、470 nm下测定吸光值。

1.3 数据分析

采用Excel 2019进行数据处理,SPSS 19.0进行统计分析和Duncan's多重比较,Origin 2018制图。

2 结果与分析

2.1 镁肥对温州蜜柑叶片镁含量的影响

由图1可见,在幼果期(5月),各处理叶片镁含量无显著差异;在果实膨大前期(7月)至果实成熟期(11月),镁肥处理叶片镁含量明显高于CK处理,且在果实膨大后期(9月),T2、T4处理叶片镁含量均显著高于CK处理,在果实成熟期,T3处理叶片镁含量显著高于CK处理。可能是随着柑橘果实的膨大,果实对镁的需求逐渐增加,需要更多的镁从叶片转移至果实,以满足果实生长发育的需要,从而导致叶片中镁含量的降低。施镁能显著缓解叶片镁含量的降低,且果实膨大后期CK处理叶片镁含量处于缺乏水平,而镁肥处理叶片镁含量处于适宜水平,说明施镁能有效改善果实膨大期叶片缺镁黄化现象。

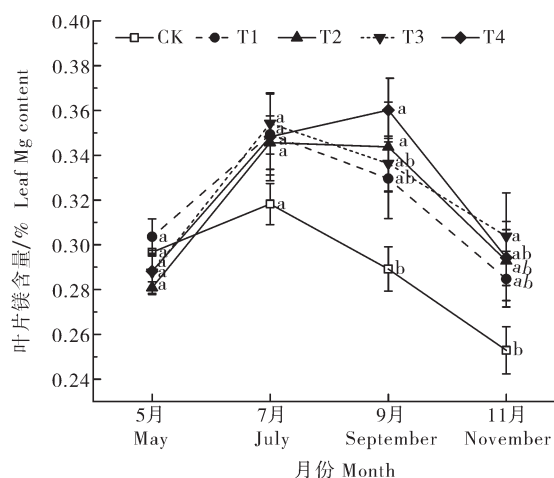


图1 2019年不同镁水平对温州蜜柑叶片镁含量的影响
Fig.1 Effects of different Mg application levels on Mg content in leaves of satsuma mandarin in 2019

2.2 镁肥对温州蜜柑果实产量的影响

试验结果显示,施加镁肥可显著提高温州蜜柑的果实产量,且产量随镁肥用量的增加呈先增后减的变化规律。2019年及2020年,不同镁水平处理果实产量增幅分别为7.88%~38.96%和0.06%~22.16%,均以T2处理产量(45.94、88.80 kg/株)增幅最高,较CK处理分别显著提高38.96%、22.16%。

对不同镁水平与温州蜜柑产量进行曲线拟合,得到2019年和2020年的拟合方程分别为: $y = -7.19 \times 10^{-4}x^2 + 0.178x + 33.690$ ($R^2 = 0.779^{**}$), $y = -9.05 \times$

$10^{-4}x^2+0.22x+72.809$ ($R^2=0.869^{**}$), 其理论最高产量对应的镁肥施用量分别为MgO 124、122 g/株, 均在T1和T2处理的镁水平之间。

2.3 镁肥对温州蜜柑果肉糖酸组分含量的影响

由表1可知, 在果实转色期, 温州蜜柑果肉蔗糖

含量均以T4处理最高, 其中2019年显著高于T3处理, 2020年显著高于其他处理, 且2020年果肉蔗糖含量随镁肥用量的增加而增高, 说明施用镁肥能提高温州蜜柑转色期果实蔗糖含量, 但对温州蜜柑成熟期果实糖酸组分含量均无显著影响。

表1 不同镁水平对温州蜜柑果肉糖酸组分含量的影响(2019—2020年)

Table 1 Effect of different Mg application levels on the content of sugar and acid components in the pulp of satsuma mandarin from 2019 to 2020 mg/g

年份 Year	时期 Period	处理 Treatment	苹果酸 Malic acid	柠檬酸 Citric acid	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	
2019	转色期 Turning color period	CK	1.17±0.12a	16.34±0.97a	14.91±0.93a	10.94±0.66a	19.28±1.12ab	
		T1	1.16±0.08a	15.46±1.56a	13.74±1.50a	10.75±1.53a	20.09±0.96ab	
		T2	1.08±0.07a	16.22±0.79a	14.20±1.17a	11.59±1.19a	19.02±0.94ab	
		T3	1.22±0.04a	16.61±2.09a	13.79±0.89a	10.63±0.92a	17.91±1.46b	
		T4	1.11±0.05a	13.97±0.75a	17.34±1.60a	14.29±1.70a	22.55±0.94a	
	成熟期 Ripening period	CK	0.80±0.08a	8.79±0.99a	23.43±1.82a	19.08±1.86a	45.17±1.69a	
		T1	0.92±0.05a	8.92±0.71a	21.81±0.88a	17.27±0.94a	48.23±1.48a	
		T2	0.81±0.04a	9.16±0.54a	25.53±5.27a	18.74±1.91a	43.67±1.43a	
		T3	0.89±0.08a	9.03±0.56a	24.21±1.71a	19.95±1.74a	45.11±2.27a	
		T4	0.70±0.13a	7.43±1.15a	23.92±1.95a	19.82±1.80a	48.38±0.54a	
	2020	转色期 Turning color period	CK	0.92±0.04a	10.45±0.70a	21.21±0.61a	16.09±0.59a	33.78±1.04b
			T1	0.97±0.09a	9.46±0.22a	23.23±1.05a	17.60±0.90a	34.42±0.54b
T2			0.98±0.07a	9.39±0.32a	21.80±0.65a	16.63±1.00a	34.28±1.77b	
T3			1.02±0.07a	10.08±0.80a	21.21±0.30a	15.85±0.34a	33.55±0.77b	
成熟期 Ripening period		T4	1.02±0.07a	9.16±0.66a	22.02±0.45a	15.39±0.75a	38.76±1.81a	
		CK	0.80±0.06a	9.38±0.67a	24.13±1.23a	17.95±0.99a	43.31±2.97a	
		T1	0.92±0.05a	8.51±0.63a	24.41±0.75a	17.45±0.47a	48.67±2.75a	
		T2	0.94±0.11a	7.94±0.21a	26.71±1.75a	18.96±1.67a	51.17±2.50a	
	T3	1.00±0.10a	8.39±0.66a	25.12±1.55a	18.08±1.39a	52.71±3.07a		
	T4	0.88±0.09a	7.80±0.38a	24.57±2.28a	17.81±1.81a	49.76±4.18a		

注: 同一列中不同字母表示数据间具有显著差异($P<0.05$)。下同。Note: Data marked with different letters in the same column is significantly different from each other ($P<0.05$). The same as below.

2.4 施镁对温州蜜柑果皮着色的影响

由表2可知, 在果实转色期, 与CK处理相比, 镁肥处理能显著增加果皮L、a、b、C值, 显著降低果皮H值(2019年T1处理除外), 说明施镁显著提高转色期果皮亮度、彩度及纯度, 促进果实提前着色, 但对成熟期果皮色差值无显著影响。

通过对温州蜜柑果皮色素的分析(表3)可知, 在果实转色期, CK处理果皮叶绿素a含量显著高于镁肥处理(2019年T1处理除外); 果皮叶绿素b含量及总叶绿素含量均以T4处理最低, 其中, 2019年及2020年T4处理果皮叶绿素b含量分别较CK处理低29.67%、27.68%, 总叶绿素含量较CK处理低46.09%、45.25%; 果皮类胡萝卜素均以T3处理含量较高, 2019年及2020年分别较T4处理提高31.10%、

13.94%, 说明施镁肥能促进果实转色期叶绿素的降解, 但镁肥对成熟期果皮叶绿素含量无显著影响。

2.5 镁肥对温州蜜柑果实品质的综合影响

将温州蜜柑转色期果实单果质量、果型指数、可食率、出汁率、可滴定酸、可溶性固形物、固酸比、 V_C 、果肉苹果酸、柠檬酸、果糖、葡萄糖、蔗糖含量及果皮L值、a值、b值、C值、H值、叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素、类胡萝卜素含量等22个品质指标进行Z-标准化及主成分分析提取(表4), 4个主成分的贡献率分别为52.55%、27.35%、15.35%、4.75%, 累积贡献率达到100%, 完全保留了22个品质指标的信息, 因此可对温州蜜柑果实品质进行综合评价, 结果见表5。

以各主成分特征值的贡献率为分配系数, 构建温州蜜柑果实综合评价模型为: $Y=0.53Y_1+$

表2 不同镁水平对温州蜜柑果皮色差值的影响(2019—2020年)

Table 2 Effect of different Mg application levels on the color difference of satsuma mandarin peel from 2019 to 2020

年份 Year	时期 Period	处理 Treatment	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>H</i>
2019	转色期 Turning color period	CK	46.45±0.28b	-7.46±0.52c	33.04±0.68b	33.08±0.55b	102.76±1.58a
		T1	47.96±2.47b	-7.17±1.72c	35.28±3.97b	36.15±3.68b	102.14±5.07a
		T2	61.06±0.55a	4.16±1.79b	56.47±1.82a	56.68±1.88a	85.86±2.52b
		T3	63.95±0.55a	10.91±2.37a	60.71±0.61a	61.76±1.00a	79.87±2.96bc
	成熟期 Ripening period	T4	62.45±0.22a	13.21±0.63a	58.99±1.02a	60.46±1.00a	77.37±0.88c
		CK	62.97±0.78a	26.74±1.36b	54.05±1.21a	60.35±1.22a	48.00±1.12a
		T1	62.89±0.85a	27.98±1.06ab	53.67±1.27a	60.57±0.84a	47.43±1.21a
		T2	63.11±0.85a	29.60±0.53ab	54.30±0.79a	61.86±0.61a	46.97±0.62a
2020	转色期 Turning color period	T3	62.12±0.29a	30.44±1.34a	53.12±0.52a	61.26±0.70a	46.41±1.10a
		T4	61.90±0.66a	29.13±0.90ab	52.67±0.73a	60.21±0.64a	46.81±0.85a
		CK	58.90±0.34b	1.88±0.60b	38.75±0.62b	38.80±0.64b	56.70±0.26a
		T1	63.09±0.85a	11.14±1.78a	46.37±1.38a	47.75±1.72a	53.21±0.63b
	成熟期 Ripening period	T2	63.63±1.38a	15.09±2.19a	47.07±2.32a	49.50±2.83a	51.66±0.67c
		T3	64.22±0.48a	15.50±1.00a	47.86±0.81a	50.32±1.01a	51.52±0.35c
		T4	64.61±0.05a	15.11±0.93a	48.76±0.19a	51.07±0.33a	51.79±0.38ab
		CK	63.71±0.67a	25.81±0.84a	40.76±0.90a	48.28±0.64ab	45.15±0.61a
成熟期 Ripening period	T1	63.19±0.07a	26.89±0.27a	39.55±0.18a	47.83±0.25b	44.24±0.13a	
	T2	63.53±0.56a	27.49±0.18a	40.32±0.82a	48.81±0.72ab	44.18±0.26a	
	T3	63.38±0.31a	27.12±0.60a	40.53±0.66a	48.78±0.54ab	44.44±0.43a	
	T4	64.09±0.35a	26.94±0.53a	41.70±0.55a	49.66±0.44a	44.91±0.36a	

表3 不同镁水平对温州蜜柑果皮色素的影响(2019—2020年)

Table 3 Effect of different Mg application levels on peel pigment of satsuma mandarin from 2019 to 2020

年份 Year	时期 Period	处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	总叶绿素 Total chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid
2019	转色期 Turning color period	CK	23.54±2.30a	19.25±0.63a	42.79±2.88a	13.29±1.37b
		T1	23.76±6.13a	19.83±2.21a	43.59±8.34a	13.71±0.97b
		T2	13.35±1.41b	14.99±0.45ab	28.34±1.69b	17.83±0.81b
		T3	12.99±1.39b	18.20±2.71ab	31.19±3.96ab	24.95±1.95a
	成熟期 Ripening period	T4	9.53±0.43b	13.54±0.62b	23.07±1.01b	17.19±1.71b
		CK	5.41±0.15a	8.79±0.24ab	14.20±0.32ab	13.70±2.34b
		T1	5.21±0.34a	8.57±0.27b	13.78±0.61b	15.21±1.89ab
		T2	5.22±0.22a	9.07±0.31ab	14.29±0.52ab	19.96±3.22ab
2020	转色期 Turning color period	T3	5.65±0.16a	9.55±0.18a	16.11±0.97a	17.73±1.08ab
		T4	5.31±0.23a	9.14±0.39ab	14.45±0.62ab	22.23±2.12a
		CK	28.47±0.86a	15.57±0.63a	44.04±1.29a	17.06±0.95a
		T1	17.60±1.74b	13.00±1.44ab	30.60±3.16b	17.98±0.78a
	成熟期 Ripening period	T2	15.79±2.43b	12.14±1.01b	27.94±3.36b	17.80±0.96a
		T3	14.13±1.23b	11.16±0.73b	25.30±1.95b	14.92±1.36ab
		T4	12.85±1.10b	11.26±0.38b	24.11±1.47b	12.84±1.00b
		CK	5.58±0.25a	9.36±0.35a	14.94±0.58a	27.08±3.13a
成熟期 Ripening period	T1	5.31±0.31a	8.99±0.34a	14.30±0.63a	26.39±1.59a	
	T2	5.13±0.08a	8.70±0.08a	13.83±0.16a	25.65±3.72a	
	T3	4.96±0.19a	8.74±0.30a	13.70±0.49a	19.68±2.06ab	
	T4	5.08±0.18a	9.34±0.53a	14.42±0.52a	17.17±1.39b	

$0.27Y_2+0.15Y_3+0.05Y_4$,式中 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 分别代表第1、2、3、4主成分。根据综合评价模型,各处理主成分综合得分排序表现为 $T4>T3>T2>T1>CK$,T4处理的得分为5个处理中最高,其品质相对最好。以5个处理的综合得分作为聚类变量,采用组间联接法,用欧式距离对22个果实品质指标进行矢量校正,将5个处理分为3个类群,类群一为T2、T3及T4处理,类群二为T1处理,类群三为CK处理,可基本判定类群一的品质较优,类群二的品质中等,类群三的品质较差,各处理品质排序为 $T2$ 、 $T3$ 、 $T4>T1>CK$ 。由此可知,施镁能提高温州蜜柑转色期果实的综合品质。

表4 主成分特征值、贡献率、累积贡献率及特征向量

Table 4 Principal component eigenvalue, contribution rate, cumulative contribution rate and eigenvector

项目 Item	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
特征值/% Characteristic value	11.56	6.02	3.38	1.05
贡献率/% Contribution rate	52.55	27.35	15.35	4.75
累积贡献率/% Cumulative contribution	52.55	79.90	95.25	100.00
单果质量 Single fruit weight	-0.11	0.31	0.29	-0.09
果形指数 Shape index	-0.20	-0.20	0.22	0.38
可食率 Edible rate	0.11	-0.10	-0.47	-0.22
出汁率 Juice yield	-0.26	0.10	0.21	0.04
可滴定酸 Titratable acid	-0.16	0.22	0.12	-0.59
可溶性固形物 Soluble solids	0.26	-0.04	0.21	-0.28
固酸比 Solids to acid ratio	0.22	-0.21	-0.15	0.32
V_C	-0.12	0.30	0.26	0.29
苹果酸 Malate	0.04	-0.09	0.53	0.01
柠檬酸 Citrate	-0.13	-0.34	0.07	-0.28
果糖 Fructose	0.06	0.39	-0.07	0.06
葡萄糖 Glucose	0.11	0.33	-0.21	0.26
蔗糖 Sucrose	0.10	0.38	-0.04	-0.02
L	0.29	-0.02	0.11	-0.02
a	0.28	0.02	0.14	0.01
b	0.29	-0.02	0.11	0.00
C	0.29	-0.01	0.11	0.01
H	-0.28	-0.02	-0.13	0.13
叶绿素a Chlorophyll a	-0.29	-0.05	-0.09	-0.06
叶绿素b Chlorophyll b	-0.28	-0.11	0.05	0.07
总叶绿素 Total chlorophyll	-0.29	-0.07	-0.06	-0.03
类胡萝卜素 Carotenoid	0.14	-0.33	0.19	0.04

表5 各处理主成分综合得分及聚类分析

Table 5 Comprehensive scores and cluster of the treatments obtained by principal component method

处理 Treatment	得分 Score	排名 Ranking	类群 Group
CK	-0.82	5	3
T1	-0.23	4	2
T2	-0.01	3	1
T3	0.20	2	1
T4	0.86	1	1

3 讨论

3.1 柑橘对镁的需求量

柑橘对镁的需求量与磷相当,但生产中通常重视磷肥而忽视镁肥的施用。柑橘果实膨大期对镁的需求量较大,需提供足够的镁才能满足果实生长发育的需要^[13],而果实中的镁主要来源于叶片镁的供给,若叶片得不到有效补充,会导致库(叶)中镁含量下降,并出现低量或缺乏症状。本研究表明从幼果期到果实成熟期,CK处理叶片镁含量下降14.76%,说明土壤有效镁含量虽处于适宜水平,但并不能满足柑橘果实膨大期对镁的需求;T1处理叶片镁含量下降6.23%,说明镁肥用量为MgO 100 g/株(T1处理)时,仍不能完全满足柑橘果实膨大期对镁的需求。由此可知,柑橘对镁的需求量较高,需进行镁肥的施用^[14]。此外,从幼果期到果实膨大后期,T4处理叶片镁含量处于增加趋势,至果实膨大后期达到最高值,说明镁肥用量为MgO 250 g/株(T4处理)能够满足果实膨大期树体及果实对镁的需求;其他处理呈先增后降的趋势(果实膨大前期达到最高值),说明果实膨大期是温州蜜柑叶片镁需求量最大的时期,全年镁肥主要施用时期应控制在果实膨大期之前。

适宜镁用量能促进光合产物的合成及分配,提高柑橘果实产量。柑橘结果越多,结果年限越长,果实带走的镁越多,需要补充的镁也越多。已有研究表明,连续6 a在施氮磷钾肥的基础上增施镁肥MgSO₄ 150 g/株能显著增加温州蜜柑果实产量^[15],施镁量为MgO 300 g/株能显著增加琯溪蜜柚果实产量^[16]。本试验条件下,2019年及2020年施镁量分别为MgO 124、122 g/株时,温州蜜柑可获得理论最高产量;镁量超过MgO 200 g/株时,温州蜜柑并无明显增产效果。

3.2 施镁对温州蜜柑果肉蔗糖含量和果皮着色的影响

柑橘果实糖、酸含量是决定其风味的重要指标,增加果实中糖含量、降低果实酸含量成为提高柑橘

果实品质的主要目标。随着柑橘果实成熟,果实果糖、葡萄糖及蔗糖含量不断增加,苹果酸及柠檬酸含量不断降低。镁能促进同化产物的合成,调控蔗糖在韧皮部的装载量,在碳水化合物从源到库的分配中起着至关重要的作用。施镁能提高椪柑^[6]、葡萄^[3]等果实可溶性固形物含量,增加锦橙果实蔗糖含量^[17]。本研究表明施镁显著增加温州蜜柑果实转色期果肉蔗糖含量,说明镁能提高柑橘果实内在品质,与施镁显著增加温州蜜柑叶片镁含量、缓解叶片黄化现象和提高果实可溶性糖含量^[18]的研究结果一致。

镁对改善作物品质具有重要作用,通过喷施镁肥能提高荔枝果皮花青素含量,且果皮花青素含量与果皮水溶性Mg含量呈正相关^[4]。施用适量镁肥对果实着色有显著的促进作用,提高果实可溶性固形物的含量,降低可滴定酸含量,改善果实的风味品质^[3]。本研究表明施镁显著增加温州蜜柑果实转色期果皮L、a、b、C值,显著降低果皮H值,说明镁能提高果皮亮度、彩度及纯度。与此同时,施镁显著降低温州蜜柑果实转色期果皮叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量,说明镁能促进果皮叶绿素的降解。其原因可能是施镁能促进蔗糖从源(叶片)向库(果实)的运输,增加库强度,使果实糖含量增加。糖的积累促进柑橘果皮叶绿体向有色体转化,进而促进果皮叶绿素的降解及类胡萝卜素的积累^[19]。综上所述,镁肥能提高果实转色期蔗糖含量,显著增加果皮L、a、b、C值,显著降低果皮H值、叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量,提高果皮亮度、彩度及纯度,进而提高温州蜜柑转色期果实内外品质,增加其市场竞争力。

参考文献References

- [1] HUSSAIN S B, SHI C Y, GUO L X, et al. Recent advances in the regulation of citric acid metabolism in citrus fruit[J]. Critical reviews in plant sciences, 2017, 36(4): 241-256.
- [2] LADO J, CRONJE P, ALQUÉZAR B, et al. Fruit shading enhances peel color, carotenes accumulation and chromoplast differentiation in red grapefruit [J]. Physiologia plantarum, 2015, 154(4): 469-484.
- [3] 马晓丽,刘雪峰,杨梅,等. 镁肥对葡萄叶片糖、淀粉和蛋白质及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(4): 114-120. MA X L, LIU X F, YANG M, et al. Effects of magnesium application on the leaves sugar, starch and protein content and the fruit quality of grapes[J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2018(4): 114-120 (in Chinese with English abstract).
- [4] 马王展,李世军,袁孟玲,等. 叶面喷施镁肥对妃子笑荔枝果皮着色及钾钙镁含量的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 854-860. WANG Z, LI S J, YUAN M L, et al. Effects of magnesium foliar application on pericarp coloring of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Feizixiao and contents of potassium, calcium and magnesium in pericarp[J]. Journal of southern agriculture, 2017, 48(5): 854-860 (in Chinese with English abstract).
- [5] 高丹,周晓超,苏阳,等. 叶面喷施钾、钙和镁肥调节三月红荔枝果皮着色和果肉风味变化同步的效果[J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 112-118. GAO D, ZHOU X C, SU Y, et al. Effects of K and Ca and Mg applied in foliar nutrients on the synchronism of pericarp coloring and flesh flavour changing of *Litchi chinensis* Sonn. cv Sanyuehong [J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2016(1): 112-118 (in Chinese with English abstract).
- [6] 廖育林,郑圣先,戴平安,等. 钾镁锌硼钼肥对椪柑产量和品质的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1158-1161. LIAO Y L, ZHENG S X, DAI P G, et al. Effect of potassium, magnesium, zinc, boron and molybdeum application on fruit yield and quality of Poon-Kan [J]. Chinese journal of soil science, 2007, 38(6): 1158-1161 (in Chinese with English abstract).
- [7] KWON M C, KIM Y X, LEE S, et al. Comparative metabolomics unravel the effect of magnesium oversupply on tomato fruit quality and associated plant metabolism [J/OL]. Metabolites, 2019, 9(10): 231 [2022-04-25]. <https://doi.org/10.3390/metabo9100231>.
- [8] 杜玉霞,李晶,寸待泽,等. 低镁胁迫对不同柠檬品种植株矿质养分含量以及果实产量、品质的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(8): 1330-1339. DU Y X, LI J, CUN D Z, et al. Effect of low magnesium stress on mineral element contents in various organs, yield and fruit quality in different lemon varieties [J]. Journal of fruit science, 2021, 38(8): 1330-1339 (in Chinese with English abstract).
- [9] 鲁剑巍,陈防,王富华,等. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 390-394. LU J W, CHEN F, WANG F H, et al. Study of classification of the soil nutrient status of citrus orchard in Hubei Province [J]. Plant nutrition and fertilizing science, 2002, 8(4): 390-394 (in Chinese with English abstract).
- [10] OBREZA T A, ZEKRI M, HANLON E A. Chapter 4: soil and leaf tissue testing [M] // MORGAN K T, KADYAMPAKANI D M. Nutrition of Florida citrus trees. 3rd ed. Gainesville: UF/IDAS Extension, 2020.
- [11] 范素杰. 汁用甜橙品种品质的综合分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010. FAN S J. Comprehensive analysis of quality of orange juice processing cultivars [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [12] ZAGARI N, SANDOVAL-IBÁÑEZ O, SANDAL N, et al. SNOWY COTYLEDON 2 promotes chloroplast development and has a role in leaf variegation in both *Lotus japonicus* and *Arabidopsis thaliana* [J]. Molecular plant, 2017, 10(5): 721-734.
- [13] FAN Z H, XIONG H Y, LUO Y Y, et al. Fruit yields depend on biomass and nutrient accumulations in new shoots of citrus trees [J/OL]. Agronomy, 2020, 10(12): 1988 [2022-04-25]. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121988>.
- [14] 黄翼,彭良志,凌丽俐,等. 重庆三峡库区柑橘镁营养水平及其影响因子研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 962-967. HUANG Y, PENG L Z, LING L L, et al. Citrus magnesium nutrient level and its impact factors in the Three Gorges Area of Chongqing [J]. Journal of fruit science, 2013, 30(6): 962-967 (in Chinese with English abstract).
- [15] 戴平安,郑圣先,罗成秀,等. 连续施用磷钾镁肥对红壤温州蜜柑的效应[J]. 中国柑桔, 1993, 22(1): 11-13. DAI P G, ZHENG S X, LUO C X, et al. Effect of long-term application of P, K, Mg on satsuma in red loam soil [J]. China citrus, 1993, 22(1): 11-13 (in Chinese with English abstract).

- [16] 雷靖.不同钙镁配比对柚果实产量、品质及钙镁吸收的影响[D].武汉:华中农业大学,2019.LEI J.Effect of different Ca/Mg ratio fertilizers on yield, quality and calcium and magnesium uptake of pomelo [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019(in Chinese with English abstract).
- [17] 秦焯南.喷施硼锌镁对提高锦橙产量和果实品质的影响[J].西南农业大学学报,1996,18(1):40-45.QIN X N.Leaf spraying with boron, zinc and magnesium and their effects on the fruit production and quality of Jingchen oranges (*Citrus sinensis* Osbeck) [J].Journal of southwest agricultural university, 1996, 18(1):40-45(in Chinese with English abstract).
- [18] 温明霞,吴韶辉,王鹏,等.缺镁温州蜜柑果园的施镁效应研究[J].果树学报,2015,32(1):63-68.WEN M X, WU S H, WANG P, et al.Effect of magnesium (Mg) application in satsuma mandarin orchard with Mg nutrient deficiency [J]. Journal of fruit science, 2015, 32(1):63-68(in Chinese with English abstract).
- [19] IGLESIAS D J, TADEO F R, LEGAZ F, et al.*In vivo* sucrose stimulation of colour change in citrus fruit epicarps: interactions between nutritional and hormonal signals [J].Physiologia plantarum, 2001, 112(2):244-250.

Effects of magnesium fertilizer on yield and quality of satsuma mandarin fruit

LIU Xiaoman¹, LIU Xiaodong¹, LIU Yan¹, TAN Qiling¹, HU Chengxiao¹, WU Songwei¹, XIE Heping²

1. *College of Resources and Environment/Hubei Provincial Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer/Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Comprehensive Experiment Station of Mandarin in Yichang of Hubei Province, Yichang 443140, China*

Abstract 20-year-old satsuma mandarin trees in Yiling District, Yichang City, Hubei Province were used to study the effects of Mg fertilizer on the components of sugar and acid in pulp, the value of color difference and content of pigment in peel at the stage of fruit color changing and fruit maturity of satsuma mandarin to balance the rational application of magnesium fertilizer in citrus and improve the internal and external quality of citrus fruit. Five magnesium fertilizer levels were set as 0, 100, 150, 200, and 250 g MgO per plant, denoted as CK, T1, T2, T3, and T4. The results showed that magnesium application significantly increased the content of magnesium in leaf at the stage of fruit expansion compared with no magnesium application. Mg fertilizer significantly increased the yield of satsuma mandarin fruit. The yield of fruit increased first and then decreased with the increase of Mg fertilizer dosage. In 2019 and 2020, the yield of fruit was the highest at 124 g and 122 g MgO per plant, respectively. Magnesium fertilizer increased the content of sucrose in the pulp at the stage of fruit color changing. Mg application significantly increased the value of *L*, *a*, *b* and *C* in peel, significantly reduced the *H* value, the content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll in peel. The brightness, chroma and purity of peel was improved. However, there was no significant impact on the content of sugar and acid in pulp, the value of *L*, *a*, *b*, *C* and the content of chlorophyll in peel at the stage of fruit maturity. The results of principal component analysis showed that the overall internal and external quality of fruit in T2, T3 and T4 treatment was better, while the quality of fruit in T4 treatment was the best at the stage of fruit coloring. It is indicated that the recommended magnesium application rate for the highest fruit yield and better quality of satsuma mandarin is 122-150 g MgO per plant, and the recommended magnesium application rate for fruit quality of satsuma mandarin is 200-250 g MgO per plant.

Keywords satsuma mandarin; Mg fertilizer; Mg deficiency; yield; fruit quality; peel coloring

(责任编辑:赵琳琳)